Deutscher Bundestag **Drucksache 19/6270**

19. Wahlperiode 30.11.2018

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Achter Bericht der Bundesregierung über die Forschungsergebnisse in Bezug auf die Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen (Achter Emissionsminderungsbericht)

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	**Einleitung**	3
2.	**Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beziehungsweise des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)**	4
2.1.	Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) – Freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber	4
2.2.	Forschungsvorhaben als Folge der Ergänzung der freiwilligen Selbstverpflichtung	4
2.2.1.	Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung	4
2.2.2.	Divergierende Risikobewertung im Bereich Mobilfunk	5
2.2.3.	Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979	5
2.3.	Überprüfung der freiwilligen Selbstverpflichtung	6
2.4.	Weiterführende Forschung zu HF-EMF	6
2.4.1.	Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro	6
2.4.2.	Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?	7

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit vom 28. November 2018 gemäß Beschluss vom 4. Juli 2002 (Bundestagsdrucksache 14/9144).

Seite

2.4.3. Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern 7

2.4.4. Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen 8

2.4.5. Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer 8

3. Maßnahmen zur Transparenz- und Information über Expositionen und deren gesundheitliche Bewertung 8

3.1. Maßnahmen der Bundesregierung zur Aufklärung und Information der Bevölkerung 8

3.2. Blauer Engel 9

4. Fazit 10

5. Ausblick 10

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

1. Einleitung

Im Jahr 2002 hat der Deutsche Bundestag die Bundesregierung beauftragt, regelmäßig über die aktuellen Forschungsergebnisse in Bezug auf Emissionsminderungsmöglichkeiten der gesamten Mobilfunktechnologie und Forschungsergebnisse in Bezug auf entsprechende gesundheitliche Auswirkungen zu berichten (Bundestagsdrucksache 14/8584). Mit dem vorliegenden Bericht kommt die Bundesregierung diesem Auftrag nunmehr zum achten Mal nach. Der Berichtszeitraum erstreckt sich vom 1. September 2016 bis zum 31. August 2018.

Hochfrequente elektromagnetische Felder umfassen den Frequenzbereich von 100 kHz bis 300 GHz und werden allgemein für die drahtlose Informationsübertragung genutzt, neben dem Mobilfunk auch für Hörfunk und Fernsehen sowie im Haushalt zum Beispiel für Schnurlostelefone, WLAN, Bluetooth und Babyüberwachungsgeräte. Maßgeblich für die Beurteilung von möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder ist nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand weiterhin die Gewebeerwärmung. Erst wenn sich durch die Einwirkung hochfrequenter Felder die Körpertemperatur um deutlich mehr als ein Grad erhöhte, konnten in wissenschaftlichen Untersuchungen gesundheitlich bedeutsame Beeinträchtigungen nachgewiesen werden.

Während diese sogenannten thermischen Wirkungen der hochfrequenten Felder unstrittig sind, dreht sich die öffentliche und wissenschaftliche Diskussion um die Frage, ob sogenannte nicht-thermische Wirkungen bei niedrigen Intensitäten zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen könnten. Nicht-thermische Effekte sind biologische Effekte, die nicht mit einer Erwärmung des Körpergewebes erklärt werden können. Nicht-thermische Wirkungen sind zum Beispiel Kraftwirkungen auf einzelne Zellen. Sie treten im Mobilfunkfrequenzbereich aber erst bei wesentlich höheren Intensitäten auf als die thermischen Wirkungen. Im Bereich niedriger Intensitäten hochfrequenter Felder konnten gesundheitliche Beeinträchtigungen infolge nicht-thermischer Wirkungen in jahrzehntelanger Forschung bisher wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden.

Auch das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF; siehe http://www.emf-forschungsprogramm.de/), das in den Jahren 2002 bis 2008 durchgeführt wurde, widmete sich in verschiedenen Forschungsvorhaben der Frage nach gesundheitlich bedeutsamen nicht-thermischen Wirkungen der hochfrequenten Felder. Es wurden keine derartigen Wirkungen nachgewiesen. Ebenso lieferten die nach 2008 international durchgeführten Untersuchungen keinen entsprechenden Nachweis. Daher ist das Fazit des DMF nach wie vor gültig: „Die Ergebnisse des DMF geben insgesamt keinen Anlass, die Schutzwirkung der bestehenden Grenzwerte in Zweifel zu ziehen.“

In der öffentlichen Diskussion spielt auch die „Elektrosensibilität“ immer wieder eine Rolle, also die Frage, ob es Personen gibt, die besonders empfindlich auf hochfrequente Felder reagieren, so dass bei Ihnen diverse gesundheitliche Beschwerden ausgelöst werden könnten. Betrachtet man hierzu die Ergebnisse, die im Rahmen des DMF erzielt wurden, und die der weiteren nationalen und internationalen Studien, so hat sich an der Einschätzung des Bundesamtes für Strahlenschutz, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen den Beschwerden der elektrosensiblen Personen und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern nicht nachweisbar ist, nichts geändert. Diese Einschätzung wird auch von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) geteilt (siehe: Elektromagnetische Felder und öffentliche Gesundheit – Elektromagnetische Hypersensibilität (Elektrosensibilität). Fact sheet N° 296 vom Dezember 2005, www.who.int/entity/peh-emf/publications/facts/ehs_fs_296_german.pdf).

Wissenschaftliche Unsicherheiten bestehen allerdings weiterhin hinsichtlich der Frage nach möglichen Langzeitrisiken bei intensiver Handynutzung über mehr als 15 Jahre. Außerdem könnten Kinder, ältere Menschen oder Kranke empfindlicher auf hochfrequente elektromagnetische Felder reagieren als gesunde Erwachsene. Das Bundesamt für Strahlenschutz sieht weiterhin Forschungsbedarf zur Klärung dieser offenen Fragen.

Aufgrund der wissenschaftlichen Unsicherheiten hinsichtlich möglicher Langzeitrisiken bei intensiver Handynutzung hat die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) der Weltgesundheitsorganisation hochfrequente elektromagnetische Felder im Mai 2011 in die Gruppe 2B der IARC-Skala (Stufe 1 = kanzerogen für Menschen bis Stufe 4 = wahrscheinlich nicht kanzerogen für Menschen) eingestuft. Dies bedeutet, dass es nach Einschätzung der IARC nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand begrenzte Hinweise auf eine krebserregende Wirkung dieser Felder auf den Menschen gibt. Diese stammen aus epidemiologischen Beobachtungen, werden aber nur unzureichend beziehungsweise nicht durch experimentelle Befunde gestützt. Das Bundesamt für Strahlenschutz hält es daher weiterhin für erforderlich, durch gezielte Forschung abzuklären, ob negative Auswirkungen mit der Nutzung der Mobilfunktechnologie verbunden sind und inwieweit die Feldexposition der Bevölkerung minimiert werden kann.

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

In den kommenden Jahren stehen die Mobilfunknetze durch den schrittweisen Aufbau des sogenannten 5G-Standards bzw. weiterer mit der zunehmenden Nutzung des Mobilfunks verbundenen technischen Innovationen bei Sendeanlagen und Antennen vor einem erheblichen Um- und Ausbau.

2. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) beziehungsweise des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Zur Verbesserung der wissenschaftlichen Datenlage zu den beschriebenen Unsicherheiten und hinsichtlich der Entwicklung neuer technologischer Anwendungen in verschiedenen Frequenzbereichen der hochfrequenten elektromagnetischen Felder wurden und werden Forschungsprojekte initiiert. Sie sollen zu einer Verbesserung der Risikoabschätzung und -bewertung für hochfrequente elektromagnetische Felder beitragen. Weiterhin ist die Höhe der Exposition der Bevölkerung durch hochfrequente Felder laufend zu beobachten, insbesondere im Hinblick auf die rasante Entwicklung bei der Nutzung hochfrequenter Felder für moderne Kommunikationstechnologien.

Die Forschung zur Risikokommunikation im Bereich des Mobilfunks dient der zielgerechten Ansprache der Bevölkerung mit wissenschaftlich fundierten Informationen.

2.1 Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) – Freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber

Ein wichtiges Element, das die Vorsorgemaßnahmen der Bundesregierung im Mobilfunkbereich unterstützt, ist die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber, die diese im Nachgang zur Versteigerung der UMTS-Lizenzen im Jahr 2001 gegenüber der Bundesregierung abgegeben haben. Damit sollten die Konflikte beim Netzausbau verringert und die Vorsorge im Bereich Mobilfunk auf freiwilliger Basis verstärkt werden. Teil der freiwilligen Selbstverpflichtung war 2001 die Zusage, das vom BMU initiierte DMF anteilig mit 8,5 Millionen Euro zu unterstützen. Es wurden insgesamt 54 Forschungsvorhaben zu den Teilbereichen Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und zur Risikokommunikation durchgeführt. Diese Forschungsvorhaben sind mittlerweile alle abgeschlossen (siehe http://www.emf-forschungsprogramm.de/

Im Jahr 2008 wurde die freiwillige Selbstverpflichtung der Mobilfunknetzbetreiber erneuert und die nach dem DMF noch offen gebliebenen Fragen wurden durch eine finanzielle Beteiligung an Forschungsvorhaben in Höhe von 1 Million Euro unterstützt. Eine dritte Forschungsförderung in Höhe von 0,6 Millionen Euro erfolgte im Februar 2012 mit dem Schwerpunkt im Bereich Wissensmanagement und Risikokommunikation. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts befindet sich das BMU in Gesprächen mit den Netzbetreibern über eine weitere Fortschreibung der Selbstverpflichtung.

2.2 Forschungsvorhaben als Folge der Ergänzung der freiwilligen Selbstverpflichtung

Die Folge der Ergänzung der freiwilligen Selbstverpflichtung im Jahr 2012 ist, dass weitere Forschungsvorhaben durchgeführt wurden.

Thema:

- Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung
- Divergierende Risikobewertung im Bereich Mobilfunk
- Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979

Die Ergebnisse dieser Forschungsvorhaben fließen direkt in die gezielte Ansprache von Bevölkerungsgruppen ein und stellen somit eine Maßnahme zum verbesserten Gesundheits- und Verbraucherschutz dar.

2.2.1 Evaluierung des EMF-Portals und Ableitung von Erkenntnissen und Empfehlungen für dessen weitere Gestaltung

Das Informationsportal zum Thema elektromagnetische Felder (EMF-Portal), das vom Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (FEMU) am Universitätsklinikum Aachen betrieben wird, stellt einen wichtigen Baustein der Risikokommunikation dar. Um für die interessierten Benutzer die Qualität dieses Portals sicherzustellen, wurde das EMF-Portal über ein Vorhaben durch zwei externe Auftragnehmer evaluiert.

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

Ein Auftragnehmer evaluierte den Inhalt der Datenbank und ein zweiter Auftragnehmer untersuchte die Darstellung und die Benutzerführung. Zu den Inhalten wurde festgestellt, dass weitere Zeitschriften ins Recherchespektrum aufgenommen werden sollen. Das Glossar sollte hinsichtlich einer präziseren Formulierung ergänzt werden. Die Messwerte aus der Feldquellen-Datenbank sollen mit klaren Begriffsdefinitionen eingebunden werden. Hinsichtlich der Benutzerführung ergab sich, dass die Suchfunktion einfacher und zielgruppenorientiert gestaltet werden soll. Redaktionelle und studienübergreifende Zusammenfassungen sollen scrollfähig und nach einheitlichen Kriterien sortierbar sein. Wegen der Barrierefreiheit sollen Bilder, Grafiken, Objekte und grafische Schalter mit Alternativtexten versehen werden und zusammengehörig gruppiert werden. Die Evaluierung des EMF-Portals zeigt, dass mit der Bereitstellung der Datenbank ein hilfreiches Instrument zum besseren Verständnis der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder angeboten wird. Der Bericht kann unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017071314292 heruntergeladen werden.

2.2.2 Divergierende Risikobewertung im Bereich Mobilfunk

Zu möglichen gesundheitlichen Risiken intensiver Handynutzung werden von einer Vielzahl unterschiedlicher Organisationen und Institutionen Risikobewertungen veröffentlicht. Diese Bewertungen fallen bei gleicher Datenlage zum Teil unterschiedlich aus, wobei häufig nicht erklärt ist, wie die unterschiedlichen Bewertungen zustande kommen. Für Laien – d. h. Personen, die nicht mit wissenschaftlichen Risikobewertungen vertraut sind – wird daher nicht klar, warum die Akteure zu unterschiedlichen Bewertungen kommen. Die Unterschiede werden dann mit „Absichten“ der jeweiligen Organisationen erklärt oder als „die Wissenschaft ist geteilter Meinung“ bewertet.

Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war es, die unterschiedlichen Grundlagen der Risikobewertungen aufzuzeigen, die Prozesse der Risikobewertung verschiedener Institutionen zu analysieren und transparent zu machen, ohne die Qualität einzelner Risikobewertungsprozesse zu beurteilen oder ein allgemeines Schema zur Risikobewertung zu erstellen. Inhaltlich zeigt das Projekt, wie wichtige Risikobewertungen im Detail ausfallen und wie sie sich voneinander unterscheiden. Außerdem wird sichtbar, dass sich die Organisationen, die Risikobewertungen vornehmen, in Typen unterteilen lassen, je nachdem, wie ihre Risikobewertungsprozesse gestaltet sind und worauf besonders Wert gelegt wird. Das erklärt zumindest im Ansatz und durchaus plausibel, weshalb es zu unterschiedlichen Einschätzungen kommen kann. Der Bericht kann unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2017050314269 heruntergeladen werden.

2.2.3 Nutzung von Mobiltelefonen und Verlauf der Gliom-Inzidenz seit 1979

Die Einstufung elektromagnetische Felder als „möglicherweise krebserregend für den Menschen“ durch die internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) im Jahr 2011 stützt sich unter anderem auf positive Zusammenhänge zwischen Mobiltelefon-Nutzung und Gliom-Risiko, die in einzelnen epidemiologischen Studien berichtet wurden. Die mit dieser Einstufung verbundene Unsicherheit beruht darauf, dass die zugrundeliegenden Studien keine eindeutigen Schlüsse zulassen.

Für die skandinavischen Länder, in denen Mobiltelefone besonders früh und intensiv genutzt worden sind, wurde bereits zweimal untersucht, ob die Gliom-Inzidenzrate seit Beginn der Nutzung von Mobiltelefonen ansteigt (1974 bis 2003, 1979 bis 2008). Es wurde kein Hinweis auf einen Anstieg der Inzidenzraten gefunden. Da unklar ist, wie lange nach Beginn der verbreiteten Nutzung der Mobiltelefone mit einem Risikoanstieg zu rechnen wäre (Induktionsperiode), wurden in der zweiten der beiden Studien mit vorhandenen Daten zur Nutzungshäufigkeit unter Annahme verschiedener Risikoerhöhungen und Induktionsperioden theoretische Verläufe der Inzidenzraten berechnet und mit den beobachteten Inzidenzraten verglichen. Die Studie zeigte, dass die berichteten erhöhten Risiken nicht vereinbar sind mit den beobachteten Inzidenzraten. Lange Induktionsperioden konnten, insbesondere bei Intensivnutzern, jedoch nicht mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Die verwendeten Nutzerdaten, die für den Vergleich zwischen berechneten und beobachteten Inzidenzraten eine wichtige Rolle spielen, stammen zudem nur aus Selbstangaben, die möglicherweise nicht sehr zuverlässig sind.

Nun stehen für die Untersuchung der Fragestellung Inzidenzdaten von mindestens fünf weiteren Jahren zur Verfügung, so dass Aussagen über die Plausibilität längerer Induktionsperioden möglich sind, und es besteht die Möglichkeit auf objektive Nutzungsdaten aus der internationalen Kohortenstudie „Cosmos“ zurückzugreifen.

Ein Vorhaben, in dem die Analysen der Gliom-Inzidenz aktualisiert und verbessert werden, wurde im Jahr 2018 vergeben.

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

2.3 Überprüfung der freiwilligen Selbstverpflichtung

Die Einhaltung der Selbstverpflichtung wurde durch alle zwei Jahre erstellte, unabhängige Gutachten überprüft. Die letzte Überprüfung wurde vom Deutschen Institut für Urbanistik (difu) und der Schlange & Co. GmbH im Auftrag des Informationszentrums Mobilfunk (IZMF) und der Vodafone GmbH im Jahr 2015 durchgeführt. Der Bericht über die folgende Überprüfung stand zum Ende des Berichtszeitraums noch nicht zur Verfügung. Er wurde der Bundesregierung kurz nach Ende des Berichtszeitraums zugeleitet.

2.4 Weiterführende Forschung zu HF-EMF

Zur Klärung der offenen wissenschaftlichen Fragen und zur weiteren Verbesserung der Datenlage hinsichtlich der Expositionen der Bevölkerung und der möglichen gesundheitlichen Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder wurden seit dem Jahr 2014 durch das BfS folgende Forschungsvorhaben im Rahmen des Ressortforschungsplans des Bundesumweltministeriums initiiert sowie koordiniert:

Thema:

- Erweiterungsstudie zur multinationalen Fall-Kontroll-Studie zu Hirntumoren durch Radiofrequenzstrahlung bei Kinder und Jugendlichen (MOBI-KIDS)
- Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro
- Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?
- Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen
- Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer

Zwei dieser Vorhaben dienen dazu, die Risikobewertung für die Exposition von Kindern zu verbessern. Aufgrund der rasanten Zunahme der Nutzung moderner Kommunikationsmittel werden Kinder in zunehmendem Maße mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern exponiert. Die höchste Exposition erfahren sie genauso wie Erwachsene durch die Nutzung von Mobiltelefonen. Der Frage einer möglichen höheren Empfindlichkeit von Kindern gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern muss daher weiter nachgegangen werden. Da die heutigen Kinder vermutlich lebenslang mit diesen Feldern exponiert sein werden, ist die Frage nach möglichen Langzeitwirkungen von besonderer Bedeutung.

2.4.1 Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf das blutbildende System in vitro

In diesem Vorhaben werden mögliche Auswirkungen einer langfristigen Exposition mit hochfrequenten Feldern auf den sich entwickelnden Organismus untersucht. Aufgrund ihrer weitreichenden gesundheitlichen Folgen sind langfristige Wirkungen im Zusammenhang mit dem blutbildenden System, dem Immunsystem und der Kanzerogenese von besonderer Bedeutung.

Da die Exposition durch körpernahe Quellen, insbesondere durch das Handy beim Telefonieren, um Größenordnungen höher ist als die durch weiter entfernte Sendeeinrichtungen, werden für die Untersuchungen bevorzugt Feldexpositionen verwendet, die denjenigen entsprechen, die bei Handytelefonaten auftreten. Bei Kindern ist zudem das blutbildende System im aktiven Knochenmark der Schädelknochen beim Handygebrauch stärker exponiert als bei Erwachsenen. Untersucht wird der Einfluss hochfrequenter Felder auf das blutbildende System in vitro, das heißt auf unterschiedliche Differenzierungsstadien der blutbildenden Zellen. Biologische Effekte, die an Zellen gemessen werden, können Hinweise auf mögliche Wirkungsmechanismen und damit auch auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen geben.

Es zeigten sich für keinen der betrachteten Endpunkte Effekte, die auf den Einfluss der hochfrequenten Felder zurückgeführt werden könnten, weder bei Exposition über einen kurzen (4 Stunden) noch über einen langen (20 bzw. 66 Stunden) Zeitraum. Zu den untersuchten Endpunkten gehörten oxidativer Stress, Differenzierung, DNA-Reparatur, Zellzyklus, DNA-Schaden, Histonacetylierung und Apoptose.

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

2.4.2 Synergistische Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder in Kombination mit kanzerogenen Substanzen – Kokanzerogenität oder Tumorpromotion?

In einer Studie des Fraunhofer-Instituts Hannover wurde im Jahr 2010 gezeigt, dass die Anzahl der durch ein pränatal verabreichtes starkes Karzinogen ENU (N-ethyl-N-nitrosourea) verursachten Tumoren der Lunge und der Leber in erwachsenen Mäusen signifikant höher war, wenn die Tiere intrauterin und nach der Geburt lebenslang elektromagnetischen Feldern des UMTS-Standards ausgesetzt waren. Diese Ergebnisse wurden später an der Jacobs Universität Bremen reproduziert und im Jahr 2015 publiziert (Lerchl et al., Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans, Biochemical and Biophysical Research Communications 459 S. 585-590). Es war unklar, ob EMF die Wirkung von ENU verstärkt (Kokarzinogenität) oder ob ENU unabhängig von EMF Tumore verursacht, die dann durch EMF in ihrem Wachstum gefördert werden (Tumorpromotion). Das vorliegende Vorhaben sollte beide Prozesse trennen und klären, ob EMF die Aufnahme und/oder Wirkung des Kanzerogens (ENU) in utero fördert (Kokanzerogenität). Dafür wurden trächtige weibliche Mäuse derselben Linie wie im vorangegangenen Forschungsvorhaben in einem engen Zeitfenster vor und nach der Verabreichung von ENU mit den Expositionsintensitäten 0,04 und 0,4 W/kg exponiert sowie scheinexponiert. Die Temperatur und der metabolische Umsatz der Tiere wurden während der Exposition kontrolliert. Die Aufnahme von ENU im Uterus und im Gewebe der Embryonen wurde immunzytochemisch bestimmt. Die Wirksamkeit von ENU wurde im Gewebe der Föten anhand der DNA Schädigung organspezifisch quantitativ bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen eindeutig und mit großer statistischer Aussagekraft, dass die DNA in keinem der untersuchten Gewebe durch die elektromagnetischen Felder stärker geschädigt war als in den Geweben nicht-exponierter Tiere. Die DNA Schädigung war in Lunge und Leber stärker als im Gehirn, aber unabhängig von der Exposition. Nach diesen Befunden können kokarzinogene Effekte elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich des UMTS-Standards als Ursache für die früher beobachteten Ergebnisse ausgeschlossen werden. Das bedeutet, dass die beobachtete tumorfördernde Wirkung eine andere Ursache haben muss. Eine parallel durchgeführte dosimetrische Studie (s. u.) zeigte für die Lunge relativ hohe, für die Leber mittlere Expositionswerte. Das verstärkte Auftreten von Tumoren in diesen beiden Organen hängt von der stärkeren Schädigung durch ENU zum Zeitpunkt der Verabreichung ab (im Gegensatz zum Gehirn), nicht von der Exposition. Ein später eintretender tumorpromovierender Effekt könnte einen thermischen Ursprung haben, allerdings gibt es keinen Unterschied zwischen der stark exponierten Lunge und der mittel exponierten Leber. Es gibt Hinweise aus der Fachliteratur, dass sich die Gewebeeigenschaften von Tumoren und gesundem Gewebe unterscheiden und dass EMF in Tumoren stärker absorbiert werden. Dies könnte zu einem schnelleren Wachstum der Tumore führen. Der Abschlussbericht kann unter http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2018011014465 heruntergeladen werden.

2.4.3 Weiterführende Untersuchungen zur Dosimetrie einer tierexperimentellen Studie an Labornagern mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern

In dieser Studie wurden die Absorption der hochfrequenten Felder und die damit einhergehenden Temperaturerhöhungen in den für die tierexperimentelle Untersuchung verwendeten Labornagern genauer bestimmt. Anlass waren Arbeitshypothesen, nach denen das beobachtete Tumorgeschehen auf unterschiedliche Absorptionsmuster oder temperaturvermittelte Effekte zurückführbar sein könnte. Dazu wurden aus hochaufgelösten Magnetresonanzaufnahmen neue, anatomisch besonders detaillierte Modelle von Labormäusen entwickelt und für computergestützte Analyseverfahren eingesetzt. Die höchsten Absorptionsraten wurden in den Lungen der Tiere festgestellt. Für Jungtiere wurden Maximalwerte bis 26 W/kg ermittelt. Durch die freie Beweglichkeit der Tiere in ihren Käfigen variiert die Absorption allerdings: Im Mittel wurden für Jungtiere 11 W/kg ermittelt, die mit zunehmendem Lebensalter vor allem aufgrund des Körperwachstums bis auf etwa 3 W/kg abnehmen. Die aus der Absorptionsverteilung bestimmten Temperaturerhöhungen blieben gemittelt über die gesamte Lebenszeit der Tiere mit 0,13 K auf einem mit anderen Geweben vergleichbaren, mittleren Niveau. Für Jungtiere erreichten sie in der höchsten Expositionsstufe maximal 0,54 K, was den insgesamt höchsten über ein gesamtes Organ oder Gewebe gemittelten Wert darstellt. Für das zweite auffällige Organ, die Leber, lagen die mittleren Absorptionsraten ungefähr einen Faktor drei und die mittleren Temperaturanstiege etwa einen Faktor zwei unter den für die Lunge bestimmten Werten, obgleich sich lokale Spitzenwerte weniger stark unterschieden. Damit liegen diese Werte auf einem vergleichbaren Niveau wie zum Beispiel die Werte für Milz und Nieren, die 2015 in der o. g. Veröffentlichung von Lerchl et al. keine Auffälligkeiten zeigten. Weiterhin deuten die Studienergebnisse darauf hin, dass insbesondere die neugeborenen Tiere eine deutlich höhere Exposition erfahren haben könnten, als ursprünglich angenommen. Die Ergebnisse stützen Hypothesen, nach denen Unterschiede im beobachteten

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

Tumorgeschehen direkt oder indirekt temperaturvermittelt sein könnten, vorrangig allerdings für Lungengewebe, nicht für Leber. Keine Aussage kann gemacht werden zu einem möglichen Einfluss der besonderen Gewebeeigenschaften von Tumoren. In der Untersuchung wurde gesundes und krankes Gewebe nicht unterschieden. Zur Aufklärung der unter Expositionsbedingungen beobachteten erhöhten Lymphominzidenz lieferte die Studie keinen Beitrag.

2.4.4 Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Frauen

Nachdem bereits im Rahmen des DMF Veränderungen im EEG bei gesunden jungen Männern unter einer Exposition mit GSM und UMTS und danach auch unter der beruflichen Exposition mit TETRA gefunden wurden, liegt jetzt der Schwerpunkt bei der Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der beobachteten Effekte beim Mobilfunk sowie beim Behördenfunk.

Untersucht wurde die Schlafqualität sowie tagsüber die kognitive Leistungsfähigkeit, beides unter einer mehrstündigen Exposition mit simulierten Signalen der Endgeräte nach GSM (900 MHz, 2 W/kg) und TETRA (400 MHz, 6 W/kg). Um den Einfluss eines Telefonats kurz vor dem Schlafengehen zu testen, begann die Exposition 30 Minuten vor dem Schlaf. Tagsüber wurden während einer mehrstündigen Exposition die kognitive Leistungsfähigkeit (Reaktionszeiten, Gedächtnis, Wachsamkeit) und das Wach-EEG untersucht. In die Studie wurden 30 Frauen im Alter von 60 bis 80 Jahren eingeschlossen. Es konnten einige wenige physiologische Expositionseffekte auf die Hirnaktivität (EEG) im Schlaf und im Wachzustand beobachtet werden. Es konnten keine nennenswerten Auswirkungen der Exposition auf die Schlafqualität, die Schläfrigkeit tagsüber und auf kognitive Funktionen festgestellt werden. Insgesamt liefern die leichten physiologischen Veränderungen keine Hinweise dafür, dass eine HF-EMF-Exposition ausgehend von Mobiltelefonen und TETRA-Endgeräten gesundheitsbeeinträchtigende Auswirkungen hat. Die Ergebnisse ergaben keinen Hinweis darauf, dass ältere Personen empfindlicher als jüngere auf hochfrequente elektromagnetische Felder reagieren.

2.4.5 Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Gehirnaktivität, Schlaf und kognitive Leistungsfähigkeit älterer Männer

Die Studie wurde mit einem identischen Studiendesign wie die Studie an Frauen durchgeführt. Es wurden 30 Männer im Alter von 60 bis 80 Jahren untersucht. Die Datenerhebung ist abgeschlossen, mit den Ergebnissen ist Mitte 2019 nach der statistischen Auswertung zu rechnen.

3. Maßnahmen zur Transparenz- und Information über Expositionen und deren gesundheitliche Bewertung

3.1 Maßnahmen der Bundesregierung zur Aufklärung und Information der Bevölkerung

Die Aufklärung der Bevölkerung über mögliche gesundheitliche Wirkungen elektromagnetischer Felder hat für die Bundesregierung einen hohen Stellenwert. Es werden hierfür zum einen Printmedien eingesetzt, zum anderen werden Informationen im Internet bereitgestellt. Weitere Aspekte der Öffentlichkeitsarbeit sind die Teilnahme an bzw. Durchführung von Informationsveranstaltungen.

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG), erlassen als Artikel 1 des Gesetzes zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), sieht die jährliche Berichterstattung durch das Bundesumweltministerium an den Deutschen Bundestag und den Bundesrat über die Entwicklung der Radioaktivität in der Umwelt vor. Zusätzlich enthält dieser Bericht auch Informationen über die neuesten Erkenntnisse und Entwicklungen aus dem Bereich der nichtionisierenden Strahlung (NIR). Hierzu zählen ebenfalls die neuesten Erkenntnisse aus dem Mobilfunkbereich, mit denen die Fachöffentlichkeit informiert wird.

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat zahlreiche Informationsmaterialien zum Thema Mobilfunk erarbeitet, die auf das Informationsbedürfnis sowohl des Fachpublikums als auch der interessierten Laien bzw. der Kinder und Jugendlichen abgestimmt sind. Die Broschüre „Strahlung und Strahlenschutz“, Infoblätter zu einzelnen Themen des Mobilfunks, die Strahlenschutzthemen, die sich mit einzelnen Aspekten des Mobilfunks genauer auseinandersetzen, die Broschüre „Mobilfunk: Wie funktioniert das eigentlich?“ für Kinder und Jugendliche, und das Unterrichtsmaterial „Mobilfunk“ für Lehrerinnen und Lehrer sind hier zu erwähnen. Neu in das Repertoire des Bundesamtes für Strahlenschutz aufgenommen ist ein Film unter http://www.bfs.de/SharedDocs/Videos/BfS/DE/emf-mobilfunk.html. Das Video „Elektromagnetische Felder des Mobilfunks“ erklärt die Grundlagen der elektromagnetischen Felder beim Mobilfunk. Es veranschaulicht wie Mobilfunk wirkt – und gibt Tipps zur Verringerung der persönlichen Exposition.

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

Für drängende Fragen zum Thema Mobilfunk im Allgemeinen und zu aktuellen gesundheitlichen Fragen in Bezug auf hochfrequente elektromagnetische Felder stehen der Öffentlichkeit Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Bundesamtes für Strahlenschutz zur Verfügung, die unter einer öffentlichen Rufnummer und per E-Mail erreichbar sind. Im Rahmen der Internetauftritte von BMU (http://www.bmu.bund.de) und BfS (http://www.bfs.de) werden unter dem Stichwort „Elektromagnetische Felder“ sachliche Informationen zum gesamten elektromagnetischen Spektrum gegeben (Niederfrequenz, Hochfrequenz, Infrarot und Ultraviolett) sowie häufig gestellte Fragen unter dem Stichwort „FAQ“ beantwortet. Die im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms und danach initiierten Forschungsarbeiten sind für die Öffentlichkeit transparent im Internet unter http://www.emf-forschungsprogramm.de dargestellt.

Weiterhin steht bei der Bundesnetzagentur unter der Adresse http://emf3.bundesnetzagentur.de/karte eine öffentlich zugängliche Datenbank aller Funkanlagen zur Verfügung, für die eine gültige Standortbescheinigung erteilt ist. Die Standortbescheinigung weist die einzuhaltenden Sicherheitsabstände zur jeweiligen Funkanlage aus. Neben den Daten von routinemäßigen Überprüfungen von elektromagnetischen Feldern an öffentlichen Plätzen sind in dieser Datenbank auch die Ergebnisse von EMF-Messreihen enthalten. Die EMF-Messreihe ist eine von der Bundesnetzagentur bundesweit durchgeführte Messkampagne zur Aufnahme von Feldstärken, die von Funkanlagen ausgesendet werden. Die Messorte werden jährlich in Zusammenarbeit mit den Umweltministerien der Länder ausgewählt und in der EMF-Datenbank der Bundesnetzagentur veröffentlicht. Zudem betreibt die Bundesnetzagentur zurzeit neun automatische Messstationen zur Messung der Immissionen von Funkanlagen im Frequenzbereich 9 kHz bis 3 GHz. Die Grenzwertausschöpfung von Funkanlagen im relevanten Frequenzbereich im Verlauf eines Tages, einer Woche oder eines Monats am Betriebsort kann eingesehen werden. All diese Messungen stellen einen Beitrag zu mehr Transparenz in der Diskussion um eine mögliche Gesundheitsgefährdung dar.

Für die zukünftige Einführung des Mobilfunkstandards 5G und die damit verbundenen Änderungen in Bezug auf die Immissionssituation der Bevölkerung sieht die 5G-Strategie der Bundesregierung vor, dass der Bund transparente Informationen bereitstellt. Das Bundesamt für Strahlenschutz wird sich an diesem Informationsangebot in Bezug auf die elektromagnetischen Felder beteiligen.

3.2 Blauer Engel

Die Strahlenschutzkommission hat bereits im Jahr 2001 in der Empfehlung „Grenzwerte und Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor elektromagnetischen Feldern“ empfohlen, „… bei der Entwicklung von Geräten und der Errichtung von Anlagen die Minimierung von Expositionen zum Qualitätskriterium zu machen.“ Sie weist darauf hin, dass – entgegen der öffentlichen Besorgnis, die vor allem Mobilfunkbasisstationen (ortsfeste Anlagen) betrifft – unter dem Gesichtspunkt des vorbeugenden Gesundheitsschutzes die Immission insbesondere durch die elektromagnetischen Felder von Geräten, z. B. von Endgeräten der mobilen Telekommunikation zu betrachten sei, weil es hier am ehesten zu einer hohen Exposition eines Nutzers kommen könne. Der Umsetzung dieser Empfehlung dient das deutsche staatliche Umweltzeichen „Blauer Engel“.

Zu den Vergabekriterien DE-UZ 106 gehört, dass sich die maximale Strahlungsintensität eines auszeichnungsfähigen Gerätes, ausgedrückt als SAR-Wert, im unteren Drittel der auf dem Markt befindlichen Geräte befindet. Daneben werden die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Bereits seit Mitte Juni 2002 können Hersteller von Mobiltelefonen den „Blauen Engel“ beantragen, sofern die Geräte die von der Jury Umweltzeichen beschlossenen Kriterien einhalten. Im Jahr 2017 wurde zusätzlich zum SAR-Wert, der beim Betrieb des Geräts am Ohr auftritt, erstmals ein Wert für den Betrieb am Körper in die Vergabekriterien aufgenommen. Dies trägt neuen Nutzungs- und damit verbundenen Expositionsszenarien Rechnung.

Im Jahr 2018 ist nur ein Mobiltelefon auf dem Markt erhältlich, das mit dem Blauen Engel ausgezeichnet ist. Damit ist die Akzeptanz des Blauen Engels, insbesondere bei Volumenherstellern, weiterhin als sehr schlecht zu beurteilen, auch wenn nicht wenige Geräte die Vergabekriterien in Bezug auf elektromagnetische Felder erfüllen könnten. Die Bundesregierung hält eine für den Verbraucher einfach zu erkennende Kennzeichnung strahlungsarmer Geräte nach wie vor für wünschenswert. Die Hersteller sind weiterhin aufgefordert, die Entwicklung strahlungsärmerer Handys voranzutreiben und sich auch weiter an einer verstärkten Verbraucherinformation zu beteiligen.

Für Babyüberwachungsgeräte (Babyphone) gibt es seit 2018 überarbeitete Vergabekriterien (DE-UZ 125) für den Blauen Engel. Die Vergabekriterien begrenzen bei den hochfrequenten elektromagnetischen Feldern die abgestrahlte Leistung und bei den niederfrequenten Magnetfeldern die magnetische Flussdichte. Geräte, die

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

ausschließlich als Dauersender arbeiten, sind von der Vergabe des Blauen Engels ausgeschlossen. Die Energieeffizienz und die Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit sind in den Vergabekriterien ebenfalls berücksichtigt. Derzeit (Stand 2018) gibt es keinen Zeichennehmer.

Mit DE-UZ 131 gibt es darüber hinaus ein Umweltzeichen für solche digitalen Schnurlostelefone (einschließlich solcher mit Voice-over-IP-Funktion), die die in den Vergabekriterien definierten Kriterien „Anpassung der Sendeleistung“, „Reichweitenbegrenzung“ sowie „Abschalten der Sendesignale im Standby-Betrieb“ erfüllen. Auch bei den Kriterien für diese Produktgruppe sind zudem Anforderungen an Energieeffizienz und Materialeigenschaften im Hinblick auf Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit berücksichtigt. Aktuell (Stand 2018) sind mehrere Modelle eines Anbieters mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

In der Gesamtschau zeigt sich, dass die Möglichkeit zur Kennzeichnung ihrer Produkte als strahlungsarm nur auf geringe Resonanz bei den Herstellern trifft, selbst wenn ein relevanter Anteil von Produkten am Markt die Vergabekriterien erfüllen würden. Möglicherweise ist die Neigung der Verbraucherinnen und Verbraucher, ihre Kaufentscheidung auch davon abhängig zu machen, dass die entsprechenden Produkte ein günstiges Emissionsverhalten hinsichtlich elektromagnetischer Felder aufweisen, zu gering ausgeprägt, um die Hersteller zur Bereitstellung dieser Transparenz im Markt anzuhalten.

4. Fazit

Die Forschungsaktivitäten des Bundesamtes für Strahlenschutz verfolgen einen sehr breiten und umfassenden Ansatz. Nach Möglichkeit wird die Exposition durch neue Entwicklungen im Bereich Mobilfunk bzw. allgemein im Bereich moderner Kommunikationsmittel frühzeitig erfasst. Mit den Vorhaben zur Klärung offener Fragen über gesundheitliche Auswirkungen bezüglich hochfrequenter elektromagnetischer Felder wird der wissenschaftliche Kenntnisstand zunehmend vertieft, wobei – ebenfalls so früh wie möglich – die Auswirkungen neuer Technologien untersucht werden.

Auch auf der Basis der neueren Ergebnisse kann festgestellt werden, dass durch die geltenden Grenzwerte der 26. BImSchV die Bevölkerung ausreichend vor gesundheitlichen Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder geschützt ist. Um die fachlichen Grundlagen für die Risikobewertung weiter zu verbessern, fördert das Bundesumweltministerium weiterhin gezielt Forschung auf dem Gebiet des Mobilfunks – insbesondere zu Langzeitwirkungen und Wirkungen auf Kinder, aber auch zur Verbesserung der Datenlage hinsichtlich neuer Technologien. Außerdem wurde die weitere Verbesserung der Risikokommunikation durch entsprechende Forschungsprojekte – auch unter finanzieller Beteiligung der Mobilfunk-Netzbetreiber – unterstützt.

5. Ausblick

Die Digitalisierung der Gesellschaft schreitet rasant fort. Dies wird zu einer starken Zunahme der drahtlosen Kommunikation insgesamt, mit vermehrtem Einsatz elektromagnetischer Felder und damit auch zu einer insgesamt höheren Belastung der Bevölkerung führen. Ein substantieller Teil dieser Zunahme wird den Mobilfunk betreffen, der neben Telefonie, Nachrichten und Internetzugang zunehmend auch für die Vernetzung von Geräten, Gegenständen und Fahrzeugen eingesetzt wird. Beispiele sind die Entwicklung der Städte hin zu Smart Cities, die Verbindung zwischen Autos oder von Autos mit Infrastrukturelementen (sogenannte V2X-Kommunikation) oder auch die weitere Entwicklung vernetzter Haushaltseinrichtung (smart home). Bedeutsam ist auch, dass die Anzahl der Anlagen und Geräte stark zunehmen wird, die in der Nähe des Menschen betrieben werden.

Um auch hier den Gedanken des vorbeugenden Gesundheitsschutzes zu beachten, ist es wichtig, von Beginn an in eine umwelt- und gesundheitsbewusste Digitalisierung zu investieren. Es geht darum, nur so viele Felder wie notwendig zu nutzen bei voller Entwicklung aller technischen Möglichkeiten. Dies schützt die Bürgerinnen und Bürger und gibt den notwendigen Freiraum für den sicheren Betrieb von zukünftigen mobilfunkbasierten Technikentwicklungen. Gleichzeitig wird mit einem solchen Weg die Akzeptanz der Digitalisierung in der Bevölkerung gefördert.

Von besonderer Bedeutung wird in den kommenden Jahren die Entwicklung hin zum 5G-Mobilfunknetz sein. Aus der Sicht der elektromagnetischen Felder sind hierbei vor allem drei technische Entwicklungen relevant: Zum einen ist in erheblichem Ausmaß die Inbetriebnahme von Sendeanlagen mit vergleichsweise geringer Leistung, sog. Kleinzellen, zu erwarten. Diese dienen der Kapazitätserweiterung der Mobilfunknetze (auch im bestehenden 3G/4G-Netz) und werden häufig nahe an Aufenthaltsorten der Bevölkerung installiert werden. Zum anderen wird der Mobilfunk künftig zunehmend auch höhere Frequenzen nutzen. Hierbei ist zeitnah zu diesem Bericht die Nutzung eines Bandes bei 3,5 GHz, anschließend bei 5 GHz und in einigen Jahren auch sogenannter „Millimeterwellen“ im Bereich von 24 bis 27 GHz vorgesehen. Zum dritten ist in den genannten Bändern die Nutzung „intelligenter Antennen“ zu erwarten, die mittels elektronischer Steuerung das Feld zielgenau auf das

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.

im Netz befindliche Endgerät ausrichten können (sog. „Beamforming“). Der Koalitionsvertrag für die 19. Legislaturperiode sieht als Ziel der Bundesregierung vor, dass der Schutz vor den elektromagnetischen Feldern bei der Digitalisierung, insbesondere auch bei dem Aufbau des 5G-Mobilfunknetzes, sichergestellt wird.

Entscheidend für die Emissionsminderung der gesamten Mobilfunktechnologie wird sein, dass Fragen in Bezug auf elektromagnetische Felder bereits bei der Entwicklung der Technologie konsequent als Rahmenbedingung beachtet werden. Die 5G-Strategie der Bundesregierung sieht in diesem Zusammenhang vor, dass bei Normung und Standardisierung bereits im Entwicklungsstadium der für 5G relevanten technischen Innovationen der Schutz vor den Auswirkungen elektromagnetischer Felder berücksichtigt wird. Dies soll im Einklang mit den internationalen Leitlinien erfolgen und so dazu beitragen, dass das bestehende hohe Schutzniveau beibehalten wird und als europaweit anerkannter Maßstab verankert bleibt. Aus diesem Blickwinkel wird die Bundesregierung die laufenden internationalen Aktivitäten begleiten und erforderlichenfalls bei der nationalen Einführung die Einhaltung der genannten Rahmenbedingungen sicherstellen. Ein vergleichbarer Ansatz wird im Übrigen für weitere innovative Funkanwendungen im Zuge der Digitalisierung zu verfolgen sein.

Am grundlegenden Ziel des Koalitionsvertrags muss sich auch die weitere Forschung ausrichten. Hierbei wird es im Bereich der gesundheitlichen Auswirkungen einen Schwerpunkt bei den im Mobilfunk neu genutzten, höheren Frequenzbändern geben. Die 5G-Strategie der Bundesregierung sieht dazu öffentlich geförderte Forschung vor, die der Bund im Bereich der Wirkung elektromagnetischer Felder von 5G mit Schwerpunkt auf Frequenzen oberhalb 20 GHz unterstützen wird. Außerdem sollen proaktiv die Auswirkungen der neuen Technologie sowie der neu aufgebauten Netze hinsichtlich ihrer elektromagnetischen Felder untersucht werden. Dabei wird ein Schwerpunkt darin bestehen, wie sich die Exposition der Bevölkerung – insbesondere auch unter Einbeziehung von Kleinzellen und unter Berücksichtigung der Beamforming-Technologie – entwickeln wird. Überdies wird zu untersuchen sein, wie sich – ggfs. auch durch innovative Methoden der Netzplanung – eine Emissionsminderung der gesamten Mobilfunktechnologie, also unter Einbeziehung der Emissionen von ortsfesten Anlagen und von Endgeräten, erreichen lässt.

Vorabfassung - wird durch die endgültige Fassung ersetzt.